

課題名 (タイトル) :

## 超対称性場の理論の数値シミュレーション

利用者氏名 : ○鈴木 博

所属 : 初田量子ハドロン物理学研究室

## 1. 本課題の研究の背景、目的、関係するプロジェクトとの関係

素粒子物理学の標準模型を越えた枠組みでは、超対称性を持つ場の量子論が重要な役割を果たすと広く信じられている。しかし、驚くべき事に、この超対称性場の理論一般の数学的に満足のいく定式化は未だ存在しないのである。従来、場の理論の非摂動論的研究を可能にする定式化としては格子場の理論が詳しく研究されて来た。この定式化は特に量子色力学への応用において華々しい成果をあげ、クォークの閉じ込め、ハドロンのスペクトラム、カイラル対称性の自発的破れなどの低エネルギー非摂動論的現象の第一原理からの研究を可能にした。そこで、格子定式化を超対称性場の理論に応用することが自然に発想されるが、これは容易ではない。理由は、超対称性の基本関係式は無限小並進を含み、一方時空を格子で近似する格子定式化には離散的な並進しか存在しないからである。つまり格子定式化は超対称性を必然的に壊す。超対称性が実現するのは(実現すると仮定して)、格子の間隔を 0 に取る連続極限においてである。この問題をいかに理解し、さらに系の非摂動論的な物理的性質を解析するか。これらが当研究の最終目標である。

## 2. 具体的な利用内容、計算方法

超対称性理論を格子定式化する困難の根本的原因は、超対称性理論を特徴付ける超対称性代数が無限小並進を含む一方、格子構造が無限小並進を壊すという点にある。このことから、格子構造が壊す無限小並進、またより一般に時空対称性の実現に関心を拡げて研究を進めている。当該年度は特に、無限小並進対称性に付随したネーターカレントであるエネルギー運動量テンソルの格子ゲージ理論における実現について精力的に研究を行った。まず解析的研究の成果として、フェルミオンを含まない純ゲージ理論に対して、連続極限

で自動的に正しいエネルギー運動量テンソルに帰着する演算子を構成することに成功した。これは、いわゆる Wilson flow という概念に基づく全く新しい構成法であり、従来の構成法と比べて多くの優位性が期待できる。現在、超対称性理論への応用も視野に、この構成法にフェルミオンを含める方法を研究している。RICC においては、SU(2) ゲージ理論に対して通常のモンテカルロ法 (pseudo-heat bath algorithm) を用いてゲージ場の配位を生成し、これに Runge-Kutta 法による Wilson flow を施した配位を多数構成した。これらを用いて、上の方法で構成したエネルギー運動量テンソルの 2 点相関関数を計算し、解析的に期待される各種性質を調べた。

## 3. 結果

様々な格子間隔、様々な flow time における相関関数の振る舞いから、我々の採用した格子間隔ではほぼ期待されるスケールリングが実現していることを確認できた。次に検証すべき重要な性質はエネルギー運動量テンソルの保存則であるが、これに関してはまだ確定的な結果は得られておらず、測定量の選択を改良するなど、今後さらなる研究が必要である。

## 4. 今後の計画・展望

まず、これまでの数値実験を継承・改良し、エネルギー運動量テンソルの成分を空間的に積分した、エネルギー、もしくは運動量の時間方向相関関数の振る舞いから保存則を検証したい。また、超対称性理論への応用の観点からはフェルミオンを含んだゲージ理論を考えることが基本的であるが、解析的な研究によりこの場合での構成法が明らかになりつつある。今後数値シミュレーションにより、このフェルミオンを含んだ系での格子エネルギー運動量テンソルの有用性も検証したい。

平成 25 年度 RICC 利用研究成果リスト

【論文、学会報告・雑誌などの論文発表】

Michael G. Endres, Tsunehide Kuroki, Fumihiko Sugino, Hiroshi Suzuki, “SUSY breaking by nonperturbative dynamics in a matrix model for 2D type IIA superstrings” Nuclear Physics B876, 758-793 (2013). [arXiv:1308.3306 [hep-th]].

Hiroshi Suzuki, “Energy–momentum tensor from the Yang–Mills gradient flow,” Progress of Theoretical and Experimental Physics 2013, 083B03 (2013). [arXiv:1304.0533 [hep-lat]].

【国際会議、学会などでの口頭発表】

鈴木博, Lattice energy-momentum tensor from the Yang-Mills gradient flow, 研究会「Lattice QCD at finite temperature and density」, 2014 年 1 月 22 日, 高エネルギー加速器研究機構 (つくば市)

鈴木博, Yang-Mills gradient flow による格子上のエネルギー運動量テンソル, 研究会「離散的手法による場と時空のダイナミクス」, 2013 年 9 月 27 日, 高エネルギー加速器研究機構 (つくば市)

鈴木博, Energy-momentum tensor from the Yang–Mills gradient flow, 日本物理学会秋季大会, 2013 年 9 月 22 日, 高知大学 (高知市)

鈴木博, Ferrara–Zumino supermultiplet and the energy-momentum tensor in the lattice formulation of 4D  $N = 1$  SYM, 日本物理学会第 68 回年次大会, 2013 年 3 月 29 日, 広島大学 (東広島市)

【その他】

鈴木博, Lattice energy-momentum tensor from the Yang-Mills gradient flow, 第 3 回 JICFuS セミナー, 2013 年 10 月 16 日, 大阪大学 (豊中市)

鈴木博, Energy-momentum tensor from the Yang–Mills gradient flow, 2013 年 7 月 22 日, 理化学研究所 (和光市)

鈴木博, Yang–Mills gradient flow によるエネルギー運動量テンソル, 2013 年 7 月 12 日, 岡山光量子科学研究所 (岡山市)

鈴木博, 超対称性理論の数値シミュレーション, 2013 年 6 月 19 日, 京都大学 (京都市)

鈴木博, Yang–Mills gradient flow によるエネルギー運動量テンソル, 2013 年 6 月 14 日, 九州大学 (福岡市)

鈴木博, Energy-momentum tensor from the Yang–Mills gradient flow, 2013 年 5 月 27 日, 理化学研究所

平成 25 年度 RICC 利用報告書

(和光市)

鈴木博, Energy-momentum tensor from the Yang–Mills gradient flow, 2013 年 5 月 15 日, 東京大学駒場キャンパス (東京都)

鈴木博, The energy-momentum tensor in the lattice formulation of 4D  $N = 1$  SYM, 2013 年 4 月 26 日, 東京工業大学 (東京都)